



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 196 33 368 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 T 19/00  
C 01 B 13/11  
B 03 C 3/02  
A 61 L 9/22  
C 08 J 3/28

②1 Aktenzeichen: 196 33 368.7  
②2 Anmeldetag: 19. 8. 96  
④3 Offenlegungstag: 26. 2. 98

DE 196 33 368 A 1

⑦1 Anmelder:  
Köster, Volkwin, 77694 Kehl, DE; Danilov, Vladimir,  
77694 Kehl, DE; Čestakov, Vjačeslav, Džerginsk, RU

⑦4 Vertreter:  
Beetz und Kollegen, 80538 München

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung und deren Anwendung zur Behandlung von Fluids, besonders zur Ozoneerzeugung

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung, ein Verfahren zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieser Verfahren. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung in einem Reaktor, der eine Elektrodenanordnung aus mindestens zwei Elektroden, zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut werden kann, aufweist und in dem sich im Elektrodenzwischenraum ein Gas befindet, durch Anlegen von Gleichspannung in Form von hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer an die Elektroden ist dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktor eine sich über das gesamte Volumen des Elektrodenzwischenraums erstreckende Koronaentladung (Volumenentladung) dadurch erzeugt wird, daß an die Elektroden Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 5 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 6 µs

angelegt werden.  
Vorzugsweise wird zur Impulserzeugung eine periodisch arbeitende Funkenstrecke verwendet.

DE 196 33 368 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 702 069/69

20/26

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung, ein Verfahren zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieser Verfahren.

Von den elektrischen Entladungen bei Normaldruck oder erhöhtem Druck können die Gleichspannungs(DC)- oder Wechselspannungs(AC)-Koronaentladungen, stille Entladungen und Büschelentladungen (Streamerkorona) genannt werden.

Eine normale Koronaentladung entsteht, wenn durch eine zwischen zwei Elektroden angelegte Hochspannung (DC oder AC) ein inhomogenes elektrisches Feld gebildet wird, beispielsweise durch eine Punktelektrode in der Nähe einer Plattenelektrode. Die Korona ist die erste Entladungsform, die bei zunehmender Feldstärke auftritt.

Durch die angelegte Spannung fließt zwischen den Elektroden ein Strom aus Elektronen und Ionen. Durch das starke elektrische Feld werden die Elektronen beschleunigt und erleiden im Elektrodenzwischenraum Stöße mit den Gasmolekülen. Durch inelastische Stöße können die Elektronen einen Teil ihrer Energie übertragen, wodurch die Moleküle in angeregte Zustände überführt werden. Diese angeregten Moleküle können ihre Anregungsenergie in Form von Photonen abgeben, wodurch das charakteristische Glühen der Koronaentladung entsteht, oder sie können chemische Reaktionen (gegebenenfalls auch über Zwischenprodukte (Dissoziation, Radikale und dergleichen)) mit weiteren Gasmolekülen eingehen. Energiereichere Elektronen können über inelastische Stöße ferner Gasmoleküle ionisieren. Auch Ionen werden durch das starke elektrische Feld beschleunigt, sie verlieren jedoch im Gegensatz zu Elektronen ihre Energie durch elastische Stöße mit Gasmolekülen. Durch die hohe Massendifferenz zwischen Elektronen und Molekülen verlieren die Elektronen durch elastische Stöße nur unmerklich Energie, wohingegen durch die ähnlichen Massen von Ionen und Molekülen kinetische Energie von den Ionen auf die Moleküle übertragen wird, wodurch die Temperatur des Gases erhöht wird. Die Moleküle werden jedoch nicht in angeregte Zustände gehoben und können daher auch keine chemischen Reaktionen eingehen. Daher wirkt sich der Ionenstrom nicht günstig auf die chemischen Reaktionen aus, und es wird unnötige Energie durch das Erwärmen des Gases verbraucht. Da die Bildung von angeregten Molekülen nur in einem kleinen Bereich des Elektrodenzwischenraums stattfindet, ist die Bildungsrate klein und die auf das Volumen bezogene Effizienz gering.

Eine stille Entladung tritt auf, wenn eine Hochspannung (AC) an zwei parallele Elektroden angelegt wird, die durch eine dielektrische Schicht getrennt sind, beispielsweise Glas oder Luft. Das gebildete elektrische Feld ist hier homogen über dem Elektrodenzwischenraum. Stille Entladungen können beispielsweise für die Durchführung von chemischen Reaktionen verwendet werden; beispielsweise wird von Reis et al., Handbook of Ozone Technology and Application, 1982, S. 1—84, die Herstellung von Ozon in einer stillen Entladung beschrieben.

Wenn eine Hochspannung (DC) an zwei Plattenelektroden angelegt wird, die durch Luft getrennt sind, fließt zwischen den Elektroden so gut wie kein Strom. Wenn die Spannung erhöht wird, tritt zwischen den Platten plötzlich ein Funke auf, wodurch die Platten kurzgeschlossen werden und ein hoher Strom fließt. Kurz vor dem Kurzschluß kann ein Streamer (Durchschlagkanal) zwischen den Platten beobachtet werden. Eine stabile Streamerentladung kann gebildet werden, indem sehr kurze Hochspannungspulse (200 ns) an asymmetrische Elektroden angelegt werden. Während der Hochspannungsimpulse bilden sich Streamer zwischen den Elektroden, es bleibt jedoch vor dem Abschalten der Spannung nicht genügend Zeit, daß ein Kurzschluß auftreten kann. Die Impulse können mit kurzen Impulsfolgen angelegt werden, wodurch eine stabile Streamer-Koronaentladung gebildet werden kann, die zur Durchführung von chemischen Reaktionen verwendet werden kann. Da die Streamer über den gesamten Elektrodenzwischenraum wandern, ergibt sich eine hohe Bildungsrate aktiver Species, die chemische Reaktionen eingehen können.

Beispielsweise wird in der Druckschrift US 4 695 358 ein Verfahren zur Umwandlung von Schwefeldioxid und/oder Stickoxidgasen in Säurenebel und/oder Partikelaerosole beschrieben, in dem die Gase einer Streamer-Koronaentladung ausgesetzt werden, das aus folgenden Schritten besteht: Durchführen des Gasgemisches durch eine Streamer-Koronaentladungszone, die durch zwei Elektroden vorgegeben wird, periodisches Anlegen von elektrischen Impulsen mit ausreichender Hochspannung, um eine kontinuierliche gepulste Streamer-Koronaentladung zu erzeugen, wobei zur Verbesserung der Streamer-Koronaentladung schmale Impulse mit schneller Anstiegszeit an die Elektroden angelegt werden, die eine Draht-Zylinder- oder Draht-Platte-Geometrie aufweisen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung anzugeben, mit denen eine Lokalisierung der Entladung und deren Übergang in Form eines Funkens oder Lichtbogens verhindert wird, wodurch eine Entladung mit einer durchgängigen diffusen Ausleuchtung des gesamten Entladungsraums gebildet wird. Ferner sollen Anwendungen für das Verfahren und die Vorrichtung angegeben werden.

Die Aufgabe wird gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindungskonzeption.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung in einem Reaktor, der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung aus mindestens einer ersten Elektrode und mindestens einer zweiten Elektrode, zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut werden kann, aufweist und in dem sich im Elektrodenzwischenraum ein Gas befindet, durch Anlegen von Gleichspannung in Form von hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer an die Elektroden ist dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktor eine sich über das gesamte Volumen des Elektrodenzwischenraums erstreckende Koronaentladung (Volumenentladung) dadurch erzeugt wird, daß an die Elektroden Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 5 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 6  $\mu$ s

5

angelegt werden.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung, wobei die Gase bzw. Fluids durch einen Reaktor, der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung aus mindestens einer ersten Elektrode und mindestens einer zweiten Elektrode aufweist, zwischen denen in einem inhomogenen elektrischen Feld durch Anlegen von Hochspannung in Form von Gleichspannung und hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer eine Koronaentladung erzeugt wird, mit einer vorgegebenen Verweilzeit hindurchgeleitet werden, das dadurch gekennzeichnet ist, daß im Elektrodenzwischenraum zwischen den Elektroden im Reaktor, durch den das Gas bzw. Fluid hindurchgeleitet wird, eine sich über das ganze Volumen des Elektrodenzwischenraums erstreckende Koronaentladung (Volumenentladung) nach dem oben definierten Verfahren erzeugt wird, bei dem an die Elektroden Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 5 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 6  $\mu$ s

20

angelegt werden.

Es werden vorzugsweise Hochspannungsimpulse angelegt, deren Impulswiederholfrequenz im Bereich von 10 bis 500 kHz liegt.

25

Nach einer bevorzugten Ausführungsform werden Hochspannungsimpulse angelegt, deren Amplitude das 0,1- bis 10fache der Amplitude der konstanten Komponente der an die Elektroden angelegten Gleichspannung beträgt.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beträgt die zwischen den Elektroden erzeugte bzw. aufrechterhaltene mittlere elektrische Feldstärke 2 bis 10 kV/cm bei einer Einheitlichkeit von  $E_{\max}/E_{\text{mittel}} \geq 8$ .

30

Die Hochspannungsimpulse werden besonders vorteilhaft so erzeugt, daß aus einer Hochspannungs-Gleichspannung durch einen mit dem Reaktor mit den Elektroden in Reihe geschalteten Impulserzeuger hochfrequente Impulse erzeugt werden, der eine beliebig angetriebene Unterbrecheranordnung mit mindestens einem rotierenden Unterbrecherelement oder einen oder mehrere Elektrodenräume mit mindestens zwei einander gegenüberliegenden Elektroden mit vorgegebenem oder einstellbarem Abstand aufweist, die eine Funkenstrecke bilden.

35

Zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse werden bevorzugt die obengenannten Impulserzeuger verwendet.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Gas bzw. Fluid bei Atmosphärendruck und/oder einem über Atmosphärendruck liegenden Druck durch den Reaktor hindurchgeleitet bzw. die Volumenentladung bei diesen Drucken erzeugt und aufrechterhalten.

40

Das Gas bzw. Fluid wird insbesondere bei einem Durchsatz von 2 bis 500 m<sup>3</sup>/h mit einer Lineargeschwindigkeit von 0,2 bis 20 m/s durch die Volumenentladung hindurchgeleitet.

Nach einem Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung werden Aerosole getrennt, wobei die abgeschiedenen flüssigen oder festen Teilchen aus dem Reaktor abgeführt werden, insbesondere durch eine Öffnung in der äußeren Elektrode.

45

Nach einem anderen Aspekt können durch das erfindungsgemäße Verfahren Gase bzw. Fluids behandelt werden, bei denen während der Verweilzeit in der Volumenentladung chemische Reaktionen eintreten. Als Beispiele können die Umwandlung von Geruchsstoffen und/oder von Schadstoffen in Gasen, insbesondere die Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid bzw. Schwefelsäure, der Abbau von NO<sub>x</sub>, die Oxidation von Kohlenwasserstoffen zu CO<sub>2</sub>, die Erzeugung von Ozon, die Oberflächenbehandlung und Oberflächenmodifizierung von Metallen, insbesondere die Nitrierung, sowie die Aufrauung bzw. Hydrophilisierung von elektrisch nicht leitenden Materialien, insbesondere Kunststoffen, genannt werden.

50

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere dazu, Ozon zu erzeugen. Vorteilhaft wird Ozon aus Luft oder einem sauerstoffhaltigen Gas erzeugt.

55

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung und der Verfahren zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung, welche aufweist:

- einen Reaktor, der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung aus mindestens einer ersten Elektrode und mindestens einer zweiten Elektrode, zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut werden kann, sowie einen Gaseinlaß und einen Gasauslaß aufweist, und
- eine Stromversorgungseinrichtung, die Hochspannung in Form von Gleichspannung und hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer an die Elektroden liefert und einen Impulserzeuger umfaßt, der die Hochspannungsimpulse erzeugt;

65

sie ist dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinrichtung mit dem Impulserzeuger so ausgebildet ist, daß an die Elektroden Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 5 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 6 µs anlegbar sind.

Wie oben zum erfindungsgemäßen Verfahren erläutert, werden vorzugsweise Hochspannungsimpulse angelegt, deren Impulswiederholfrequenz im Bereich von 10 bis 500 kHz liegt und/oder deren Amplitude das 0,1- bis 10fache der Amplitude der konstanten Komponente der an die Elektroden angelegten Gleichspannung beträgt; die zwischen den Elektroden erzeugte bzw. aufrechterhaltene mittlere elektrische Feldstärke beträgt vorzugsweise 2 bis 10 kV/cm bei einer Einheitlichkeit  $E_{\max}/E_{\text{mittel}} \geq 8$ .

Die erfindungsgemäß verwendete Elektrodenanordnung ist grundsätzlich so, daß ein inhomogenes elektrisches Feld erzeugt wird. Derartige Elektrodenanordnungen sind dem Fachmann geläufig, z. B. aus US 4 695 358. Besonders günstig sind Draht-Zylinder-Anordnungen und Draht-Platte- und Spitze-Platte-Anordnungen.

Die Draht-Zylinder-Anordnung ist vorzugsweise coaxial und damit rotationssymmetrisch. Auch symmetrische Draht-Platte- und Spitze-Platte-Anordnungen mit der Draht- bzw. Spitzenachse als Symmetrieachse sind bevorzugt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnungen und unter Bezug auf Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Reaktors, mit dem das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist;

Fig. 2 eine Prinzipschaltung einer Stromversorgungseinrichtung für den Reaktor;

Fig. 3 bis 5 verschiedene Ausführungsformen erfindungsgemäßer Impulserzeuger zum Einsatz beim erfindungsgemäßen Verfahren bzw. in der erfindungsgemäßen Stromversorgungseinrichtung;

Fig. 6 eine vorteilhafte Elektrodenanordnung für den Reaktor;

Fig. 7 und 8 zwei vorteilhafte Ausführungsformen von Reaktoren.

Der in Fig. 1 dargestellte Reaktor 1 zur Erzeugung einer Koronaentladung, der aus dem Stand der Technik bekannt ist, umfaßt eine erste Elektrode 2 und eine zweite Elektrode 3, zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut und aufrechterhalten werden kann. Die erste Elektrode 2 ist dabei vorteilhaft ein Draht oder ein Stab, der über isolierte Durchführungen 7 isoliert in einem vorzugsweise rotationssymmetrischen Gehäuse, das bevorzugt zylindrisch ausgebildet ist, zentral bzw. coaxial angeordnet ist. Das Gehäuse bildet in diesem Fall die zweite Elektrode 3.

Im Elektrodenzwischenraum 4, der im vorliegenden Beispiel praktisch dem Innenvolumen des Reaktors 1 entspricht, wird ein Gas bzw. ein Fluid vorgesehen, das über einen Einlaß 5 und einen Auslaß 6 durch den Reaktor hindurchgeleitet werden kann.

Aus Sauerstoff und Sauerstoff enthaltenden Gasgemischen, insbesondere Luft, läßt sich beispielsweise Ozon erzeugen.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird praktisch im gesamten Elektrodenzwischenraum 4 die Koronaentladung erzeugt (Volumenentladung), so daß ein durch den Reaktor 1 hindurchgeleitetes Fluid praktisch in jedem Volumelement des Innenraums dem Koronaplasma ausgesetzt ist, also praktisch keine Toträume vorliegen, so daß eine maximale Reaktionsausbeute bzw. ein maximaler Wirkungsgrad erzielbar ist.

Im Reaktor 1 können auch mehrere Elektrodenanordnungen vorgesehen sein.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Stromversorgungseinrichtung 7, die an einen Reaktor 1 angeschlossen ist. Sie weist eine Hochspannungsversorgung 8 (Hochspannungsnetzgerät) auf, die vorzugsweise aus einem Hochspannungstransformator mit sekundärseitigem Gleichrichter besteht, der eine Filtereinrichtung 9 mit Glättungskondensator 11 nachgeschaltet ist. Im Stromkreis des Reaktors 1 ist ein als Unterbrecher wirkender Impulserzeuger 10 in Reihe geschaltet. Diese Stromversorgungseinrichtung ist im Prinzip aus US-A-4 695 358 bekannt. Diese Vorrichtung wird jedoch erfindungsgemäß in neuartiger Weise ausgebildet bzw. betrieben, um die beim erfindungsgemäßen Verfahren vorgegebenen Betriebsbedingungen einstellen und aufrechterhalten zu können.

Dies gilt besonders für den Impulserzeuger 10.

Die Fig. 3 zeigt einen besonders bevorzugten und vorteilhaften Impulserzeuger 10 vom Unterbrechertyp, der erfindungsgemäß verwendet werden kann. Er weist zwei Elektroden 18, 19 sowie eine ihnen gegenüberliegende und von ihnen beabstandete Elektrodenbrücke 20 mit zwei Brückenelektroden 21, 22 auf, die mit den Elektroden 18, 19 eine Funkenstrecke bilden, wobei

- zwischen der ersten Elektrode 18 und der einen Brückenelektrode 21 der Elektrodenbrücke 20 und zwischen der zweiten Elektrode 19 und der anderen Brückenelektrode 22 der Elektrodenbrücke 20 jeweils ein Elektrodenraum 23 bzw. 24 gebildet wird, und

- die Elektroden 18, 19 hohl ausgebildet sind, mit einer Druckluftversorgung D in Verbindung stehen und eine der jeweils zugehörigen Brückenelektrode 21, 22 gegenüberliegende Öffnung 25 aufweisen, aus der Druckluft zum Anblasen der Gegenelektrode 21 bzw. 22 ausströmen kann.

Die ausströmende Druckluft führt zu einem periodischen Abreißen der sich zwischen den Elektroden 18, 21 und 19, 22 ausbildenden Funken.

Die Lineargeschwindigkeit der Druckluft am Ausgang der Öffnung beträgt vorzugsweise mindestens etwa 100 m/s.

Durch diesen Impulserzeuger können die erfindungsgemäßen Betriebsbedingungen in einfacher Weise er-

zeugt und aufrechterhalten werden. Durch geeignete Wahl der Abmessungen der Elektroden und Elektrodenräume und Einstellung des Abstandes der Elektrodenbrücke 20 mit den Brückenelektroden 21, 22 von den Elektroden 18, 19 sowie des Arbeitsdrucks der Druckluft, die über die Öffnung der Druckluftversorgung D eingeführt wird, können insbesondere die Impulsdauer und die Impulswiederholfrequenz leicht eingestellt werden.

Fig. 4 zeigt einen weiteren bevorzugten und vorteilhaften Impulserzeuger 10, der erfindungsgemäß verwendet werden kann. Er weist eine Unterbrecheranordnung mit einem Elektrodenraum 17 mit zwei einander gegenüberliegenden, fest angeordneten Elektroden 14, 15 auf, zwischen denen ein rotierendes Unterbrecherelement 16 vorgesehen ist, das elektrisch leitend ist und mit den Elektroden 14, 15 eine Funkenstrecke bildet.

Das rotierende Unterbrecherelement 16, das aus einem insbesondere pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch angetriebenen Zylinder 26 besteht, dessen Achse 27 im wesentlichen parallel zu den beiden Elektroden 14, 15 angeordnet ist, weist auf seiner Mantelfläche 28 mindestens eine Rippe 29 auf, die vorzugsweise spiralförmig oder in Form einer Doppelspirale ausgebildet ist (Fig. 4b und 4c) und als Unterbrecher zur Erzeugung der Funkenstrecke dient.

Fig. 5 zeigt einen weiteren besonders bevorzugten und vorteilhaften Impulserzeuger 10, der erfindungsgemäß verwendet werden kann. Die Elektrodenanordnung besteht aus zwei gegenüberliegenden Elektroden 31, 32 mit einstellbarem oder festem Abstand, die in Radialrichtung in einem Rohr 34 vorgesehen sind, das aus einem elektrisch isolierenden Material besteht und vorzugsweise ozonbeständig ist. Die Elektroden ragen mit ihren Enden in den freien Rohrquerschnitt hinein. Durch dieses Rohr 34 wird im Betrieb ein Fluid, z. B. Preßluft, geleitet, das durch Abreißen von Entladungsstrecken zwischen den Elektroden 31, 32 eine Funkenstrecke erzeugt. Vorteilhaft ist ferner eine Zwischenelektrode 33 vorgesehen, die in der Ebene der Elektroden 31, 32 etwa senkrecht dazu angeordnet ist. Sie besteht beispielsweise aus einem radial durch das Rohr 34 hindurchgehenden Draht oder Stab und dient dazu, zwischen den Elektroden 31, 32 eine doppelte Funkenstrecke zu erzeugen. Die Zwischenelektrode 33 muß nicht unbedingt auf einem definierten Zwischenpotential zwischen dem der Elektroden 31, 32 gehalten werden. Sie ist vorzugsweise ohne definiert aufrechterhaltenes Potential, also potentialmäßig "schwimmend".

Nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform besitzt das Rohr 34 im Querschnitt an der Stelle der Elektroden 31, 32, 33 eine Verengung und ist vorzugsweise in Form eines Venturirohrs ausgebildet, so daß sich im Bereich der Elektroden 31, 32, 33 eine erheblich höhere Strömungsgeschwindigkeit des Fluids als am Rohreingang und am Rohrausgang ergibt, was besonders leicht die Erzielung der erfindungsgemäßen Betriebsbedingungen im Reaktor 1 erlaubt.

Ein besonderer Vorteil des Impulserzeugers von Fig. 5 liegt darin, daß als Betriebsfluid zur Erzeugung der Funkenstrecke das Fluid verwendet werden kann, das im Reaktor 1 behandelt wird, also keine separate Versorgung mit einem Betriebsfluid erforderlich ist.

Fig. 6 zeigt eine Elektrodenanordnung, die auf dem sog. Nadel-Platte-Prinzip beruht, als geeignete Elektrodenanordnung für den Reaktor 1. Das System umfaßt eine erste Elektrode 2 und eine zweite Elektrode 3, zwischen denen eine Zwischenelektrode 12 vorgesehen ist.

Die erste Elektrode 2 besteht aus einem Flachmaterial, z. B. einer Platte, und weist nadelförmige oder messerklingenförmige Vorsprünge auf, die vorzugsweise gleichmäßig über die Gesamtfläche einer Seite verteilt angeordnet sind.

Nach einer besonders günstigen Ausführungsform besteht die Elektrode 2 aus einem Drahtgeflecht, einem Gitter oder einer Lochplatte, auf denen die Vorsprünge vorgesehen sind, die in Fig. 6 schematisch angedeutet sind.

Die zweite Elektrode 3 besteht aus einer Platte, einem Drahtgeflecht, einem Gitter oder einer Lochplatte.

Die Zwischenelektrode 12 ist vorteilhaft ebenfalls aus einem Drahtgeflecht, einem Gitter oder einer Lochplatte aufgebaut und dient dazu, zusammen mit den Elektroden 2 und 3 eine gleichmäßige Volumenentladung aufzubauen. Sie ist vorzugsweise auf Erdpotential gelegt.

Diese Anordnung ist vorteilhaft, da sie die Erzielung einer größeren Volumenausbreitung der Entladung erlaubt.

In Fig. 7 ist ein Reaktor 1 dargestellt, der mehrere hintereinandergeschaltete Draht-Platte-Elektroden Systeme aufweist. Der Reaktor besitzt ferner eine Austrageinrichtung 13, die über eine Stromversorgung 14 auf einem geeigneten Abscheidpotential gehalten werden kann. Der Reaktor 1 weist in diesem Bereich eine geeignete Öffnung auf, die vorteilhaft in Form eines Schlitzes in Umfangsrichtung ausgeführt ist.

Die erste Elektrode 2 besteht jeweils aus einem Draht, auf dem, wie in Fig. 7 schematisch dargestellt ist, voneinander beabstandete Ringe bzw. Plättchen vorgesehen sind, vorzugsweise in coaxialer Anordnung. Die zweite Elektrode 3 ist jeweils eine Platte. Die Zwischenelektrode 12 ist als Lochplatte ausgebildet und weist eine Vielzahl von Löchern auf. Alternativ dazu kann die Zwischenelektrode 12 wie im Fall der Anordnung von Fig. 6 auch aus einem Drahtgeflecht, einem Gitter oder einer vergleichbaren flächigen Struktur mit Öffnungen bestehen. Diese Vorrichtung eignet sich besonders für die Trennung von Dispersionen bzw. Aerosolen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann so beispielsweise auf die Abtrennung von Feststoffpartikeln bzw. Stäuben und die Abscheidung von flüssigen Aerosolpartikeln aus Gasen und Fluids angewandt werden, oder es kann zur Durchführung chemischer Reaktionen dienen.

Beispiele für die Durchführung chemischer Reaktionen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sind die Umwandlung von Geruchsstoffen und/oder von Schadstoffen in Gasen, insbesondere die Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid bzw. Schwefelsäure, der Abbau von  $\text{NO}_x$ , die Oxidation von Kohlenwasserstoffen zu  $\text{CO}_2$ , die Erzeugung von Ozon, die Oberflächenbehandlung und Oberflächenmodifizierung von Metallen, insbesondere die Nitrierung, sowie die Aufrauung bzw. Hydrophilisierung von elektrisch nichtleitenden Materialien, insbesondere Kunststoffen.

Fig. 8 zeigt einen Reaktor 1, dessen zweite Elektrode 3 in Form eines Metallgewebes oder eines Metallgeflechts ausgebildet ist, besonders aus Edelstahl. Die Gegenelektrode 2 ist z. B. eine koaxiale Drahtelektrode. Der Vorteil dieser Elektrodenanordnung liegt in der Fluiddurchlässigkeit der zweiten Elektrode 3 und ihrer Trennung vom Gehäuse des Reaktors 1.

Mehrere solche Elektrodenanordnungen mit einer solchen zweiten Elektrode 3 können innerhalb eines einzigen Reaktorgehäuses angeordnet werden, was strömungstechnisch und ausbeutemäßig vorteilhaft ist, da hindurchströmende Fluids mit hoher Wahrscheinlichkeit mehrfach mit zwischen diesen Elektrodenanordnungen vorliegenden Volumenentladungen in Kontakt kommen.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist mindestens eine der Elektroden 2, 3 eine Öffnung auf, durch die abgelagerte Partikel aus dem Reaktor 1 entfernt werden können.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann insbesondere zur Abtrennung von Feststoffpartikeln bzw. Stäuben und zur Abscheidung von flüssigen Aerosolpartikeln aus Gasen und Fluids sowie zur Durchführung chemischer Reaktionen verwendet werden. Von den chemischen Reaktionen können beispielsweise die Umwandlung von Schadstoffen in Gasen, die Erzeugung von Ozon, die Oberflächenbehandlung und Modifizierung von Metallen, insbesondere die Nitrierung, sowie die Aufrauung bzw. Hydrophilisierung von elektrisch nichtleitenden Materialien, insbesondere Kunststoffen, genannt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient insbesondere dazu, Ozon zu erzeugen. Vorteilhaft wird Ozon aus Luft oder einem sauerstoffhaltigen Gas erzeugt.

Ozon als stabiles, reaktives Gas kann für außerordentlich zahlreiche Anwendungen herangezogen werden, die dem Fachmann geläufig sind, beispielsweise besonders zur Behandlung von Grund- und Oberflächenwasser oder zur Sterilisation und Desinfektion, z. B. von geschlossenen Räumen, da es allgemein die Abtötung von Krankheitserregern bewirkt. Aufgrund der geringen Größe und des geringen Gewichts der erfindungsgemäßen Vorrichtung eignet sie sich insbesondere zur Sterilisation und Desinfektion von geschlossenen Räumen, wie beispielsweise Reinräumen, Operationssälen, Laboratorien, Kühlräumen, Großküchen, Kühlkraftwagen oder auch Getreidesilos.

#### Beispiel 1

##### Oxidation von Schwefeldioxid und Bildung von Schwefelsäure

Es wurde eine Vorrichtung verwendet, die aus folgenden Teilen bestand:

- einem Stahlrohr mit einer Länge von 400 mm und einem Innendurchmesser von 45 mm (Elektrode 3),
- einem Draht mit 8 mm Durchmesser, der in der Rohrachse gespannt war (Elektrode 2),
- einem Gaseinlaß und einem Gasauslaß,
- einer Kammer zur Aufnahme der sich bildenden Flüssigkeit,
- einer Vorrichtung zur Zentrierung und Befestigung der Elektroden sowie
- einer Stromquelle (8, 9, 11)

Als Impulserzeuger 10 wurde eine Vorrichtung nach Fig. 3 verwendet. Ebenso geeignet ist auch die Vorrichtung von Fig. 5.

Das Gas wurde mit einer Lineargeschwindigkeit von 1,6 m/s durch die Vorrichtung geleitet; die Verweilzeit in der Entladungszone betrug 0,25 s.

Als Gas wurde sowohl trockene als auch feuchte Luft mit Zusätzen von  $\text{SO}_2$  in einer Konzentration von 0,6% verwendet. Im ersten Fall wurde die Luft bis zu einem Taupunkt von  $-40^\circ\text{C}$  getrocknet, im zweiten Fall wurde Luft mit einer relativen Feuchte von 60% verwendet. In beiden Fällen betrug der Druck am Eingangsstutzen 0,102 MPa, die Temperatur betrug  $40^\circ\text{C}$ . Im ersten Fall (trockene Luft) wurde das Verfahren bei einer Leistungsdichte der Entladung von  $90,6 \text{ W/m}^2$  und einer mittleren Leitfähigkeit des Plasmas von  $3,0 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$  durchgeführt. Die Oxidation des Schwefeldioxids betrug dabei 87,5%, und der Energieverbrauch für die Behandlung des Gases betrug  $15,6 \text{ Wh/m}^3$ .

Mit der feuchten Luft betrug die Leistungsdichte  $57,9 \text{ W/m}^3$ , und die Leitfähigkeit betrug  $2,1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ , wobei das Schwefeldioxid vollständig oxidiert wurde. Der Energieverbrauch betrug  $10,0 \text{ Wh/m}^3$ . Gleichzeitig wurde Schwefelsäure mit einer Konzentration von 74% in der dafür vorgesehenen Kammer aufgefangen.

In den nachstehenden Beispielen 2 bis 5 wurde als Impulserzeuger eine Vorrichtung nach Fig. 5 verwendet.

#### Beispiel 2

##### Ozongewinnung aus Luft

Die hier verwendete Vorrichtung bestand aus einem Edelstahlrohr mit einem Innendurchmesser von 64,5 mm und einer Länge von 725 mm. In dem Rohr befand sich ein Edelstahldraht mit einem Durchmesser von 1 mm, der an Isolatoren befestigt und zentrisch im Rohr gespannt war. Der Reaktor war mit Eingangs- und Ausgangsanschlüssen zur Beschickung mit Gasen versehen. Das Rohr und der Draht dienten als Elektroden, wobei das Rohr die Kathode und der Draht die Anode darstellte. Der Reaktor wurde von einem handelsüblichen Hochspannungsnetzgerät gespeist, wobei die Masse auf den Minuspol geschaltet war.

Vor dem Reaktor befand sich eine Vorrichtung zur Impulserzeugung, der Impulserzeuger 10. Er wurde mit Druckluft betrieben.

Der Luftdurchsatz betrug  $55 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einem Eingangsdruck von 2 bar, der Elektrodenabstand war 2,4 mm.

Zur Ozongewinnung wurde normale, nicht getrocknete und nicht gekühlte Luft verwendet.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einige charakteristische Werte für die Bedingungen bei der Entladung sowie die Ergebnisse der Ozongewinnung aus nicht getrockneter Luft. Der Durchsatz G, der Energieverbrauch sowie die Leistungsdichte sind auf das gebildete Ozon bezogen.

Die Tabelle zeigt, daß bei einer Variation des Luftdurchsatzes durch den Reaktor von 10 bis  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer entsprechenden Luftgeschwindigkeit in der Entladungszone von 0,85 bis 8,5 m/s die Ozonkonzentration in Abhängigkeit von den elektrischen Daten im Bereich von 0,1 bis  $1,2 \text{ g/m}^3$  variiert.

### Beispiel 3

#### Erzeugung einer Koronaentladung im inhomogenen elektrischen Feld

Die Erregung der Entladung wurde in einer Vorrichtung verwirklicht, die aus zwei Entladungsräumen bestand und ein Nadel-Platte-Elektrodensystem darstellte (vgl. Fig. 6, 7).

Tabelle

| Versuch | Luft-<br>durchsatz<br>$Q$ ( $m^3/h$ ) | Temperatur<br>( $^{\circ}C$ ) | Strom<br>(mA) | Spannung<br>(kV) | Ozonkonzentration $CO_3$<br>( $g/m^3$ ) | Leistung $P$<br>(W) | $P/Q$<br>(Wh/ $m^3$ ) | Durchsatz<br>(g/h) | Energie-<br>verbrauch<br>(Wh/g) | Leistungs-<br>dichte<br>(W/ $m^3$ ) |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------|---|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1       | 40                                    | 35,60                         | 5             | 18,20            | 0,2                                     | 91,00               | 2,28                  | 8                  | 11,38                           | 38434                               |
| 2       | 40                                    | 36,00                         | 5             | 18,20            | 0,1                                     | 91,00               | 2,28                  | 4                  | 22,75                           | 38434                               |
| 3       | 40                                    | 39,00                         | 10            | 19,00            | 0,2                                     | 190,00              | 4,75                  | 8                  | 23,75                           | 80247                               |
| 4       | 40                                    | 43,00                         | 15            | 19,50            | 0,3                                     | 292,50              | 7,31                  | 12                 | 24,38                           | 123538                              |
| 5       | 40                                    | 48,00                         | 20            | 19,50            | 0,4                                     | 390,00              | 9,75                  | 16                 | 24,38                           | 164717                              |
| 6       | 40                                    | 51,80                         | 25            | 19,70            | 0,4                                     | 492,50              | 12,31                 | 16                 | 30,78                           | 208008                              |
| 7       | 60                                    | 49,00                         | 30            | 20,00            | 0,4                                     | 600,00              | 10,00                 | 24                 | 25,00                           | 253410                              |
| 8       | 60                                    |                               | 20            | 19,70            | 0,3                                     | 394,00              | 6,57                  | 18                 | 21,89                           | 166406                              |
| 9       | 60                                    |                               | 15            | 19,30            | 0,2                                     | 289,50              | 4,83                  | 12                 | 24,13                           | 122271                              |
| 10      | 80                                    | 44,00                         | 20            | 20,20            | 0,2                                     | 404,00              | 5,05                  | 16                 | 25,25                           | 170630                              |
| 11      | 80                                    | 49,00                         | 30            | 19,80            | 0,3                                     | 594,00              | 7,43                  | 24                 | 24,75                           | 250876                              |
| 12      | 100                                   |                               | 20            | 20,00            | 0,2                                     | 400,00              | 4,00                  | 20                 | 20,00                           | 168940                              |
| 13      | 100                                   | 47,00                         | 30            | 20,00            | 0,2                                     | 600,00              | 6,00                  | 20                 | 30,00                           | 253410                              |
| 14      | 10                                    | 41,00                         | 16            | 19,70            | 1,2                                     | 315,20              | 31,52                 | 12                 | 26,27                           | 133125                              |
| 15      | 20                                    | 46,00                         | 15            | 19,30            | 0,6                                     | 289,50              | 14,48                 | 12                 | 24,13                           | 122271                              |
| 16      | 20                                    |                               | 20            | 19,50            | 0,8                                     | 390,00              | 19,50                 | 16                 | 24,38                           | 164717                              |
| 17      | 20                                    | 51,00                         | 25            | 19,60            | 0,9                                     | 490,00              | 24,50                 | 18                 | 27,22                           | 206952                              |
| 18      | 30                                    |                               | 15            | 19,20            | 0,4                                     | 288,00              | 9,60                  | 12                 | 24,00                           | 121637                              |
| 19      | 30                                    | 49,00                         | 20            | 19,50            | 0,5                                     | 390,00              | 13,00                 | 15                 | 26,00                           | 164717                              |
| 20      | 30                                    | 52,00                         | 25            | 19,80            | 0,6                                     | 495,00              | 16,50                 | 18                 | 27,50                           | 209064                              |
| 21      | 30                                    | 55,00                         | 30            | 19,80            | 0,7                                     | 594,00              | 19,80                 | 21                 | 28,29                           | 250876                              |
| 22      | 40                                    | 49,50                         | 20            | 19,50            | 0,4                                     | 390,00              | 9,75                  | 16                 | 24,38                           | 164717                              |
| 23      | 40                                    | 51,00                         | 25            | 19,60            | 0,5                                     | 490,00              | 12,25                 | 20                 | 24,50                           | 206952                              |
| 24      | 40                                    | 54,70                         | 30            | 19,70            | 0,6                                     | 591,00              | 14,78                 | 24                 | 24,63                           | 249609                              |



Die nadelförmige erste Elektrode 2 war ein zylinderförmiger Metallstab mit einer Länge von 150 mm und einem Durchmesser von 5 mm. Das Ende der Elektrode war als Kegel mit einer Höhe von 25 mm ausgeführt, wobei der Krümmungsradius des Elektrodenendes etwa 0,4 mm betrug.

Als Zwischenelektrode 12 diente eine Metallplatte. Sie war in einem Abstand von 90 mm von der Nadelspitze montiert und an der Erdung der Spannungsquelle angeschlossen. Die erste Elektrode 2 war über einen Widerstand von 15 M $\Omega$  an den positiven Pol der Hochspannungsquelle angeschlossen. Die Zwischenelektrode 12 wies eine Bohrung von 0,2 mm Durchmesser auf, deren Achse mit der Symmetrieachse der Elektrode übereinstimmte. Die Stärke der Metallplatte betrug 3 mm. Im Hinterraum, d. h. auf der von der Nadelelektrode abgekehrten Seite der Metallplatte, und parallel dazu, war eine weitere Metallplatte als zweite Elektrode 3 montiert, die über einen Widerstand von 2 k $\Omega$  am negativen Pol einer weiteren, zweiten Spannungsquelle angeschlossen war, wobei der positive Pol geerdet war. Hierdurch entstand ein zweiter Entladungsraum. Beide Metallplatten waren kreisförmig und wiesen einen Durchmesser von 200 mm auf, der Zwischenraumabstand betrug 50 mm. Fig. 6 zeigt schematisch diese Elektrodenanordnung.

Die Entladung im ersten Zwischenraum (zwischen der ersten Elektrode 2 und der Zwischenelektrode 12) wurde durch Anlegen einer positiven Hochspannung an die Elektrode 2 erregt. Die Entladung im zweiten Zwischenraum (zwischen den Metallplatten 12 und 3) wurde durch ein negatives Potential, das an die zweite Elektrode 3 (zweite Metallplatte) angelegt wurde, erzeugt. Wenn die Spannung den kritischen Wert erreicht hatte, konnte man eine Volumenentladung des Gases sehen, die sich durch die Bohrung der Zwischenelektrode 12 in Richtung auf die zweite Elektrode 3 hin ausdehnte. Dabei wurde eine beträchtliche Steigerung des Entladungsstromes im zweiten Zwischenraum beobachtet.

#### Beispiel 4

##### Erzeugung einer Koronaentladung im inhomogenen elektrischen Feld

Im Vergleich zu Beispiel 3 wurde hier zur Vergrößerung des Entladungsvolumens sowie zur Steigerung der Leistung und des Volumenwirkungsgrades der Entladung eine Elektrodenanordnung, die gasdurchlässig war, gemäß Fig. 6 verwendet.

Die in diesem Beispiel verwendete Vorrichtung zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung bestand aus einem Gehäuse mit Stutzen zum Gaseinlaß bzw. Gasauslaß. Im Inneren des Gehäuses waren flache Elektroden 2, die aus einem Netz bestanden, angebracht. Auf diesen Elektroden 2 waren nadelartige bzw. messerartige Elemente befestigt. Die Elektroden 2 waren an eine Spannungsquelle angeschlossen, die zur Erregung der Volumenentladung eine Kombination von Dauer- und Impulsspannungen erzeugte. Elektroden 3, die aus einem flachen Netz bestanden, waren über einen Widerstand R an den negativen Pol einer Gleichstromquelle angeschlossen. Die Zwischenelektroden 12 bestanden ebenfalls aus einem flachen Netz und waren am geerdeten Gehäuse der Vorrichtung angeschlossen. Die Elektroden, an welche die Hochspannung angelegt wurde, waren über Isolatoren befestigt.

#### Beispiel 5

##### Abtrennung von Feststoffpartikeln bzw. Stäuben

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung eignen sich besonders zur Abscheidung von Stäuben aus Gasen und insbesondere Luft; sie können jedoch auch zur Reinigung von Gasen und besonders von Luft sowie zur Trennung von Aerosolen, besonders Aerosolen mit Flüssigkeitströpfchen, verwendet werden.

Der verwendete Reaktor 1 war zylinderförmig, wobei der Zylindermantel als zweite Elektrode 3 diente. Die erste Elektrode 2 war ein koaxial gespannter Draht von 0,8 mm Durchmesser.

Der zylindrische Mantel des Reaktors 1 bestand aus zwei koaxial angeordneten Teilzylindern von jeweils 45 mm Innendurchmesser, die eine Länge von 540 mm bzw. von 60 mm aufwiesen. Die beiden Teilzylinder waren so miteinander verbunden, daß zwischen ihnen ein Ringspalt von 1,2 mm vorlag.

Der Reaktor besaß am äußeren Ende des längeren Teilzylinders eine in Axialrichtung angeordnete Einführungsöffnung für das zu behandelnde Gas und am außenliegenden Ende des kürzeren Teilzylinders eine Ausführungsöffnung für das behandelte Gas.

Mit dieser Vorrichtung wurde staubbeladene Luft behandelt. Ein Luftstrom mit einem Staubanteil von  $25 \pm 3$  g/m<sup>3</sup> strömte linear ohne eine Spiralbewegung durch die Vorrichtung.

Der Durchsatz des gesamten Gasstroms variierte im Bereich von 60 bis 20 m<sup>3</sup>/h, wobei das Gas so geführt wurde, daß durch den Ringspalt zwischen den Rohrteilen ca. 5% des gesamten Gasstromes strömten. Der am als zweite Elektrode dienenden Mantel des Reaktors abgeschiedene Staub wurde durch den Teilgasstrom, der durch den Ringspalt strömte, in eine äußere Kammer hinein ausgetragen.

Es wurde bei einer Lineargeschwindigkeit des Gasstromes von etwa 1 bis 8,3 m/s eine Ablagerung des Staubes festgestellt. Bei einer Geschwindigkeit des Gasstromes von mehr als 9,4 m/s und einem Entladungsstrom von über 2 mA bewegte sich der Staub in Form einer dünnen Schicht entlang der Oberfläche des zylindrischen Reaktormantels und floß durch den Ringraum zwischen den Rohrteilen in einen Sammelbehälter.

Bei einer Lineargeschwindigkeit von etwa 10,5 m/s im Bereich der Entladung (Durchsatz des Gases etwa 60 m<sup>3</sup>/h), einem Staubgehalt von ca. 25 g/m<sup>3</sup>, einem Entladungsstrom von etwa 3 mA und einer Spannung der Stromquelle von 12 kV betrug der Reinigungseffekt 96,3%, d. h., 96,3% des Staubes wurden abgetrennt.

Die obigen Resultate zeigen, daß die Erfindungskonzeption einen Weg zur Erzeugung stabiler, homogener

Koronaentladungen eröffnet, mit denen in breitem Maße sowohl chemische Reaktionen, z. B. die Erzeugung von Ozon oder die reaktive Reinigung von mit Schadstoffen wie  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  etc. beladenen Gasen, als auch physikalische und physikalisch-chemische Reinigungsprozesse, insbesondere die Abscheidung von Stäuben und die Trennung von Aerosolen, in technisch einfacher und wirtschaftlich vorteilhafter Weise durchgeführt werden können.

### Patentansprüche

#### 1. Verfahren zur Erzeugung einer stabilen Koronaentladung

in einem Reaktor (1), der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung aus mindestens einer ersten Elektrode (2) und mindestens einer zweiten Elektrode (3), zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut werden kann, aufweist und in dem sich im Elektrodenzwischenraum (4) ein Gas befindet,

durch Anlegen von Gleichspannung in Form von hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer an die Elektroden (2, 3),

**dadurch gekennzeichnet, daß**

im Reaktor (1) eine sich über das gesamte Volumen des Elektrodenzwischenraums (4) erstreckende Koronaentladung (Volumenentladung) dadurch erzeugt wird, daß an die Elektroden (2, 3) Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 4 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 10  $\mu\text{s}$

angelegt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Hochspannungsimpulse einer Impulswiederholfrequenz von 10 bis 150 kHz an die Elektroden (2, 3) angelegt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Hochspannungsimpulse angelegt werden, deren Amplitude das 0,1- bis 10fache der Amplitude der konstanten Komponente der an die Elektroden (2, 3) angelegten Gleichspannung beträgt.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine mittlere elektrische Feldstärke von 2 bis 10 kV/cm bei einer Einheitlichkeit  $E_{\text{max}}/E_{\text{mittel}} \geq 8$  zwischen den Elektroden (2, 3) erzeugt bzw. aufrechterhalten wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochspannungsimpulse so erzeugt werden, daß aus einer Hochspannungs-Gleichspannung durch einen mit dem Reaktor (1) mit den Elektroden (2, 3) in Reihe geschalteten Impulserzeuger (10) hochfrequente Impulse erzeugt werden, der eine beliebig angetriebene Unterbrecheranordnung mit mindestens einem rotierenden Elektrodenelement (16) und/oder einen oder mehrere Elektrodenräume (17; 23, 24; 30) mit mindestens zwei einander gegenüberliegenden Elektroden (14, 15; 18, 21; 19, 22; 31, 32) mit vorgegebenem oder einstellbarem Abstand aufweist, die eine Funkenstrecke bilden (Fig. 3, 4a—4c).

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenentladung bei Atmosphärendruck oder einem über Atmosphärendruck liegenden Druck erzeugt wird.

7. Anwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6 auf die Abtrennung von Feststoffpartikeln bzw. Stäuben und die Abscheidung von flüssigen Aerosolpartikeln aus Gasen und Fluids, die Durchführung chemischer Reaktionen, insbesondere die Umwandlung von Geruchsstoffen und/oder von Schadstoffen in Gasen, die Erzeugung von Ozon, die Oberflächenbehandlung und Oberflächenmodifizierung von Metallen, insbesondere die Nitrierung, zur Aufrauhung bzw. Hydrophilisierung von elektrisch nicht leitenden Materialien, insbesondere Kunststoffen sowie zum Sputtern.

8. Verfahren zur Behandlung von Gasen und gasförmigen Fluids durch eine Koronaentladung, durch Hindurchleiten des Gases bzw. Fluids durch einen Reaktor (1), der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung aus mindestens einer ersten Elektrode (2) und mindestens einer zweiten Elektrode (3) aufweist, zwischen denen in einem inhomogenen elektrischen Feld durch Anlegen von Hochspannung in Form von Gleichspannung und hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer eine Koronaentladung erzeugt wird, mit einer vorgegebenen Verweilzeit, dadurch gekennzeichnet, daß im Elektrodenzwischenraum (4) zwischen den Elektroden (2, 3) im Reaktor (1), durch den das Gas bzw. Fluid hindurchgeleitet wird, eine sich über das ganze Volumen des Elektrodenzwischenraums (4) erstreckende Koronaentladung (Volumenentladung) nach dem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7 erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas bzw. Fluid bei Atmosphärendruck oder einem über Atmosphärendruck liegenden Druck durch den Reaktor (1) hindurchgeleitet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 und/oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas bzw. Fluid bei einem Durchsatz von 2 bis 500  $\text{m}^3/\text{h}$  mit einer Lineargeschwindigkeit von 0,2 bis 20 m/s durch die Volumenentladung hindurchgeleitet wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Ozon aus Luft oder einem sauerstoffhaltigen Gas erzeugt wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Aerosole getrennt werden, wobei die abgeschiedenen flüssigen oder festen Teilchen aus dem Reaktor (1) abgeführt werden, insbesondere durch eine Öffnung in der äußeren Elektrode (3).

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Gase bzw.

Fluids behandelt werden, bei denen während der Verweilzeit in der Volumenentladung chemische Reaktionen eintreten, insbesondere die Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid bzw. Schwefelsäure, der Abbau von  $\text{NO}_x$ , die Oxidation von Kohlenwasserstoffen zu  $\text{CO}_2$  und die Ozonbildung.

14. Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 13, die aufweist:

- einen Reaktor (1), der eine vorzugsweise symmetrische Elektrodenanordnung (2, 3) aus mindestens einer ersten Elektrode (2) und mindestens einer zweiten Elektrode (3), zwischen denen ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut werden kann, sowie einen Einlaß (5) und einen Auslaß (6) für Gas bzw. Fluid aufweist, und
- eine Stromversorgungseinrichtung (7), die Hochspannung in Form von Gleichspannung und hochfrequenten Hochspannungsimpulsen sehr kurzer Dauer an die Elektroden (2, 3) liefert und einen Impulserzeuger (10) umfaßt, der die Hochspannungsimpulse erzeugt,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Stromversorgungseinrichtung (7) mit dem Impulserzeuger (10) so ausgebildet ist, daß an die Elektroden (2, 3) Hochspannungsimpulse

- einer Amplitude von 4 bis 70 kV,
- einer Impulswiederholfrequenz von 0,1 bis 500 kHz,
- einer Impulsanstiegszeit von 0,1 bis 500 ns und
- einer Impulsdauer von 0,1 bis 6  $\mu\text{s}$

anlegbar sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulserzeuger (10) vom Unterbrechertyp ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulserzeuger (10) zwei in einem Hohlraum (17) fest angeordnete Elektroden (14, 15) aufweist, zwischen denen ein rotierendes Elektrodenelement (16) drehbar angeordnet ist, das mit den fest angeordneten Elektroden (14, 15) eine Funkenstrecke bildet und durch Druckluft antreibbar ist, die vorzugsweise auch in den Hohlraum (17) einleitbar ist (Fig. 4a).

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das rotierende Elektrodenelement (16) zylindrisch ausgebildet ist und auf der Zylinderaußenfläche eine oder zwei spiralig angeordnete Elektroden-teile aufweist und die beiden festen Elektroden (14, 15) vom rotierenden Elektrodenelement (16) beabstan-det etwa parallel zur Zylinderachse angeordnet sind (Fig. 4a–4c).

18. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulserzeuger (10) minde-stens einen oder mehrere Elektrodenräume (23, 24; 30) mit mindestens zwei einander gegenüberliegenden Elektroden (18, 21; 19, 22; 31, 32) mit vorgegebenem oder einstellbarem Abstand aufweist, die eine Funken-strecke bilden (Fig. 3, 4a–4c, 5).

19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktor (1) zylindrisch ausgebildet ist und die Elektrodenanordnung (2, 3) des Reaktors (1) aus einem vorzugsweise koaxial angeordneten Draht und der Wandung des Reaktors (1) besteht (Fig. 1).

20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (2, 3) des Reaktors (1) ein Nadel-Platte-System ist (Fig. 6).

21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Elektrodenanordnungen (2, 3) im Reaktor (1) vorgesehen sind.

22. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß minde-stens eine der Elektroden (2, 3) eine Öffnung aufweist, durch die abgelagerte Partikel aus dem Reaktor (1) entfernbar sind.

23. Verwendung der Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 22 zur Abtrennung von Feststoffpartikeln bzw. Stäuben und zur Abscheidung von flüssigen Aerosolpartikeln aus Gasen und Fluids, zur Durchführung chemischer Reaktionen, insbesondere zur Umwandlung von Geruchs- und/oder Schadstoffen in Gasen, zur Erzeugung von Ozon, zur Oberflächenbehandlung und Modifizierung von Metallen, insbesondere zur Nitrierung, zur Aufrauung bzw. Hydrophilisierung von elektrisch nicht leitenden Materialien, insbesonde-re Kunststoffen, sowie zum Sputtern.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

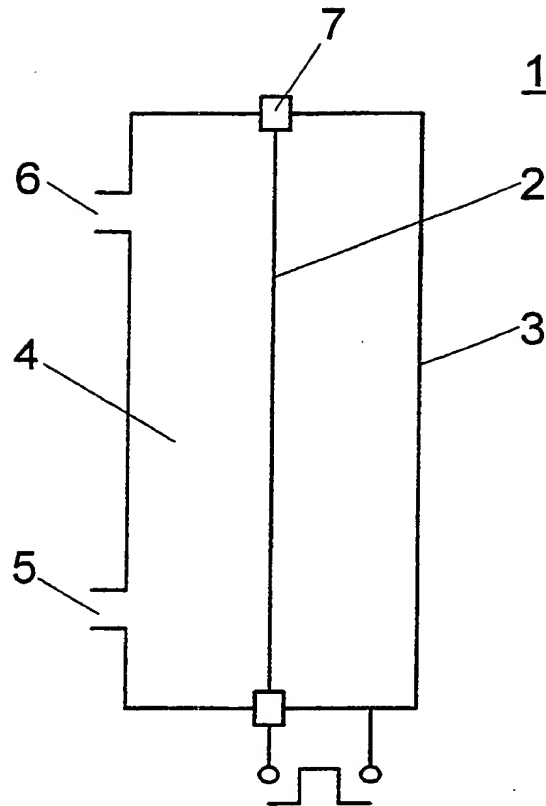


Fig. 2

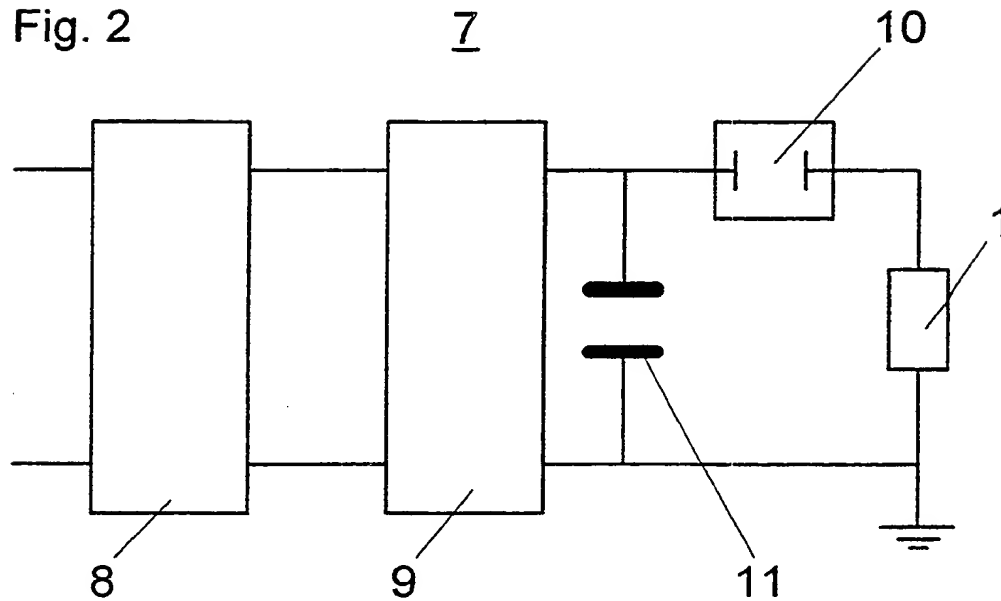


Fig. 3

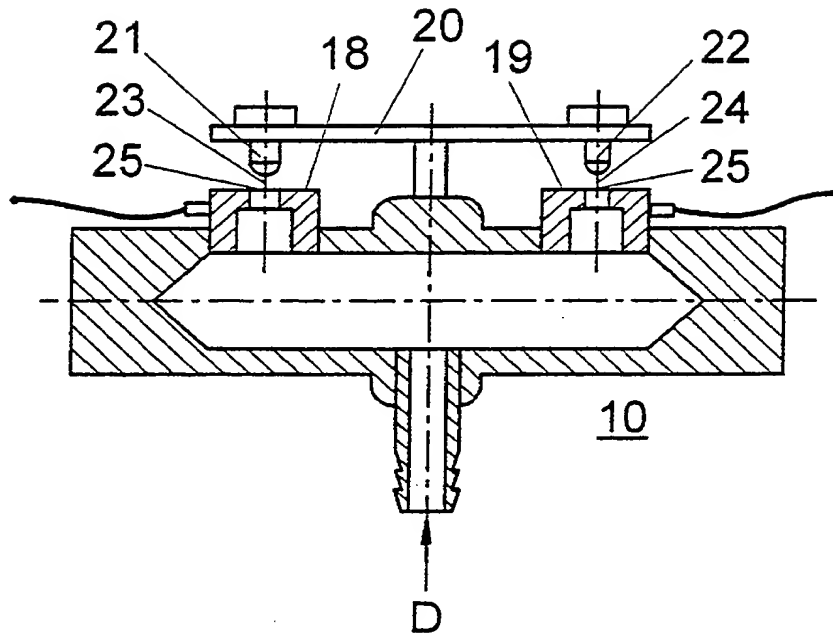


Fig. 4a

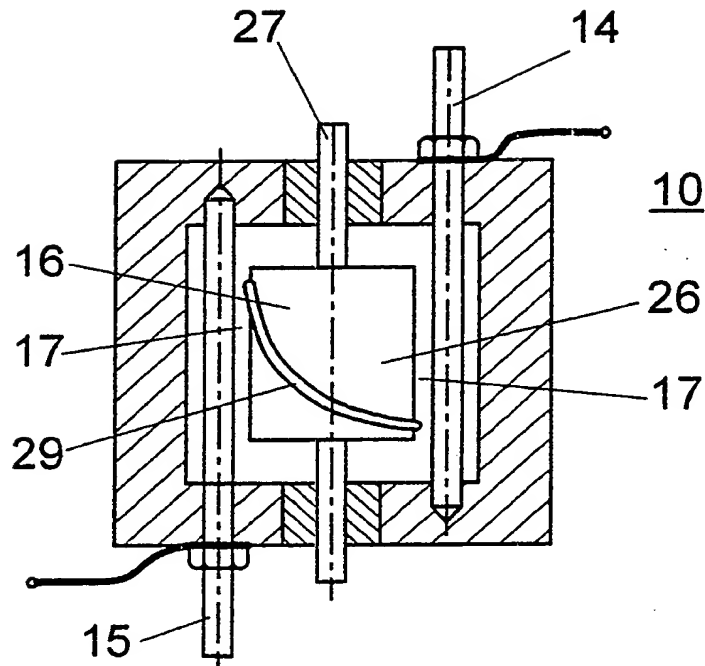


Fig. 4b

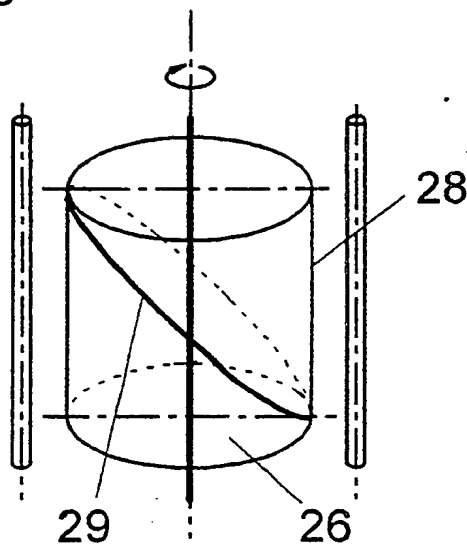
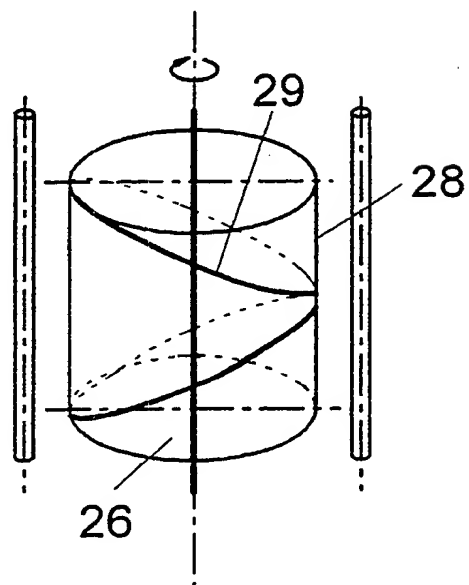


Fig. 4c



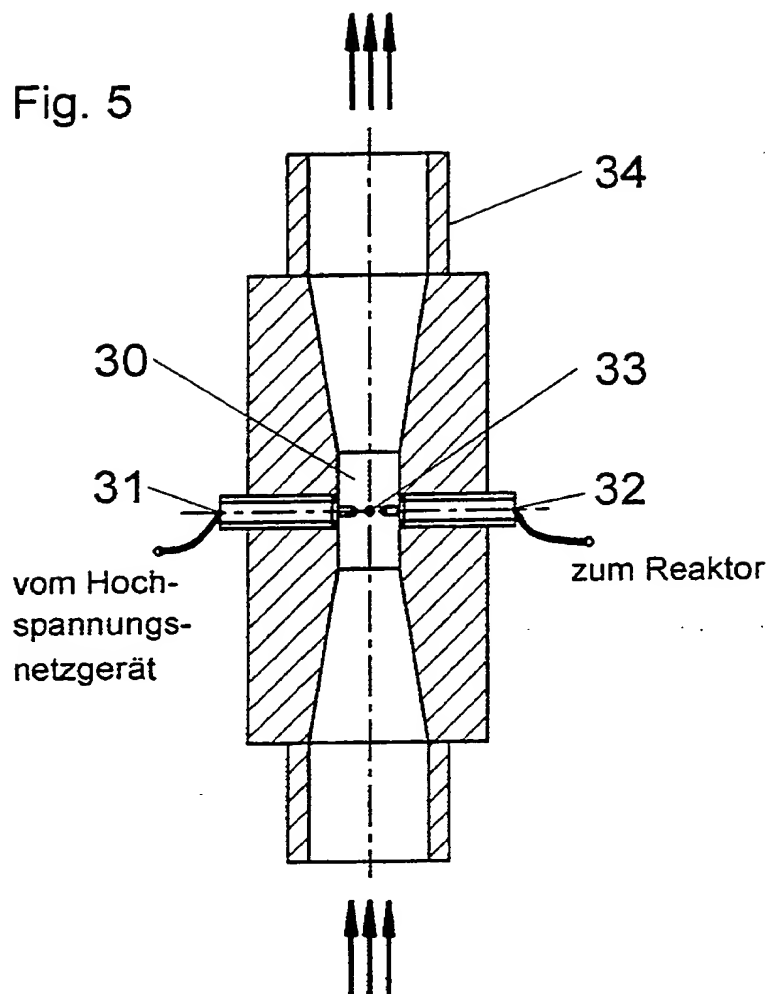




Fig. 6

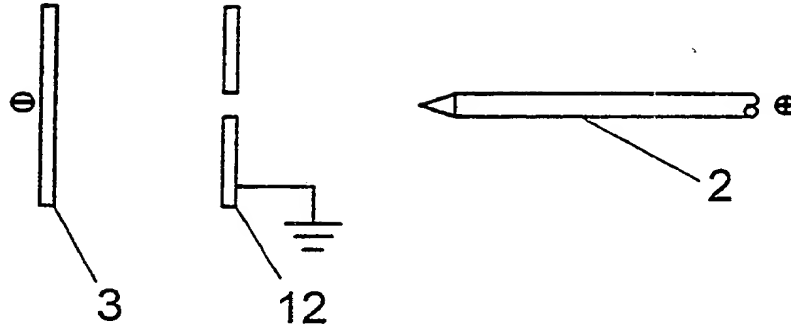


Fig. 7

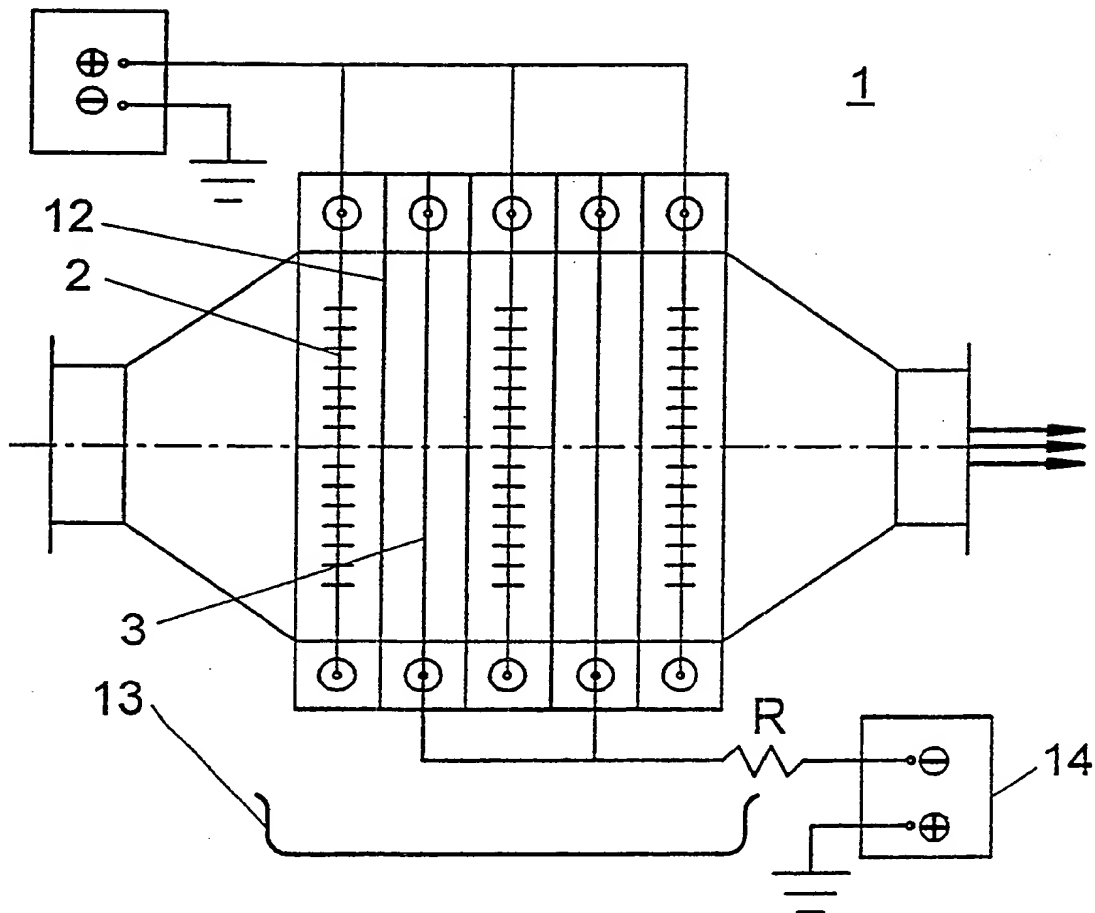


Fig. 8

